

Sistemas construtivos Pavimentos Permeáveis

Conceitos e Requisitos para Pavimentos de Concreto Permeável

MSc. Mariana L. Marchioni e
MSc. Cláudio Oliveira Silva

Associação Brasileira de Cimento Portland

Engº Arcindo Vaquero y Mayor

Associação Brasileira das Empresas de Serviços
de Concretagem

1 INTRODUÇÃO

Nos pavimentos convencionais durante uma chuva rapidamente há formação de escoamento superficial de água. Este volume de água vai demandar o sistema de drenagem urbana do município, que pode saturar e assim ocasionar enchentes (Figura 1).



Figura 1 - Pavimento praticamente impermeável. Verifica-se a rápida formação de escoamento superficial da água.

Os pavimentos permeáveis (Figura 2) evitam este tipo de escoamento superficial, garantindo que praticamente 100% da água seja infiltrada através de sua estrutura, podendo esta infiltrar no solo ou ser transportada através de sistemas auxiliares de drenagem.

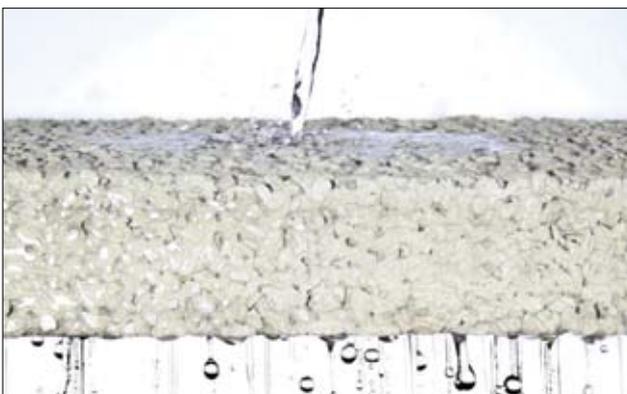


Figura 2 - Revestimento de concreto permeável

Pavimentos permeáveis são definidos como aqueles que possuem espaços livres na sua estrutura por onde a água pode atravessar (FERGUSON, 2005). São considerados um dos sistemas de drenagem urbana sustentável pois controlam o volume de água na fonte geradora e ainda promovem uma melhora na qualidade da água.

O pavimento permeável apresenta seção típica de acordo com a Figura 3.

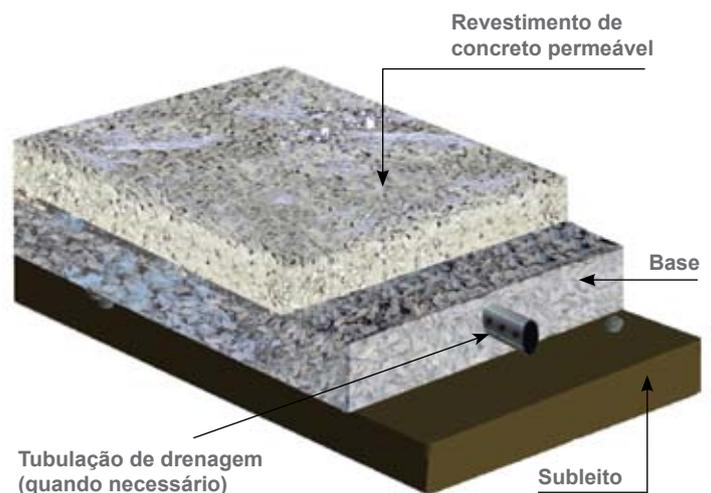


Figura 3 - Seção típica de pavimento de concreto permeável

O revestimento deve permitir a passagem rápida da água evitando assim que ela escoe superficialmente ou forme poças, garantindo que 100% da água superficial seja infiltrada através do pavimento em um intervalo de tempo compatível com a chuva local, resultando em um baixo coeficiente de escoamento superficial.

A água infiltrada fica então armazenada na estrutura do pavimento até escoar, funcionando como uma caixa de retardo.

A estrutura do pavimento deve ser dimensionada considerando-se a intensidade da chuva no local e as características do solo, além das condições de tráfego às quais o pavimento estará sujeito.

Devem também ser atentados os materiais utilizados na camada de base onde o volume de vazios dos agregados deve ser superior a 30% de acordo com método de ensaio da norma ABNT NBR NM 45.

A principal característica desse sistema é a redução do escoamento superficial mantendo a área útil do pavimento.

A estrutura de um pavimento permeável deve ser dimensionada considerando a precipitação da região, as características de permeabilidade e suporte do solo e o nível do lençol freático.

2 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO

O escoamento superficial¹ é o segmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento da água na superfície da terra.

Tem origem, fundamentalmente, nas precipitações e constitui a mais importante das fases do ciclo hidrológico, uma vez que a maioria dos estudos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento (erosão do solo, inundação etc.) (VILELA; MATOS, 1975).

Para o dimensionamento de drenagem, o coeficiente de escoamento ou “runoff” é utilizado no cálculo da vazão máxima de contribuição de uma bacia através do método racional, de acordo com a equação:

$$Q = ciA$$

onde:

Q = vazão;

c = coeficiente de escoamento;

i = intensidade da precipitação local;

A = área do local.

¹ Coeficiente de Escoamento ou Deflúvio Superficial: Parte da água da chuva penetra no terreno, parte é retida pela vegetação, parte se acumula em lagos e barragens, e parte escoar pela superfície. Esta parcela que escoar pela superfície é chamada “deflúvio superficial” ou “runoff” em inglês.

O coeficiente de escoamento é a relação entre o volume total escoado pela secção de controle e o volume total precipitado.

Valores de referência do coeficiente de escoamento estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de “c” adotados pela Prefeitura Municipal de São Paulo (WILKEN, 1978)

Zonas		Coeficiente de escoamento
1	de edificação muito densa	0,70 a 0,95
2	de edificação não muito densa	0,60 a 0,70
3	de edificações com poucas superfícies livres	0,50 a 0,60
4	de edificações com muitas superfícies livres	0,25 a 0,50
5	de subúrbios com alguma edificação	0,10 a 0,25
6	de matas, parques e campos de esportes	0,05 a 0,20

Os valores de coeficiente de escoamento da Tabela 1 variam de 0,95 para uma área de edificação muito densa ou grandes áreas impermeabilizadas, como por exemplo, um estacionamento com pavimentação em asfalto. Este valor representa que até 95% da chuva vai gerar escoamento superficial.

No outro extremo, áreas pouco edificadas e arborizadas podem apresentar coeficientes de escoamento de 0,05, isto significa que apenas 5% da água vai gerar escoamento superficial, o restante vai ser infiltrado pelo solo ou ficar retido em depressões e na própria vegetação.

Os pavimentos permeáveis podem apresentar coeficientes de escoamento inferiores a 0,05 e ainda assim, mantém a área útil do local. O objetivo de utilizar pavimentos permeáveis é justamente reduzir o coeficiente de escoamento, resultando assim em uma área útil com um valor de “c” abaixo da faixa de regiões de matas, parques e campos de esporte.

Na prática, uma área com pavimentação permeável bem dimensionada acaba apresentando desempenho até mesmo superior a uma área com vegetação, caso esta já tenha parte do solo compactado.

Esta afirmação é corroborada por estudos que demonstram que nem sempre áreas livres de pavimentação apresentam coeficientes na faixa de

0,05 a 0,20, pois o solo compactado e a ausência de depressões e vegetação aumentam o volume de água escoado superficialmente. Este fato pode ser observado em um estudo realizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ARAÚJO, 1999) onde foi simulada chuva em diferentes tipos de superfícies (Figura 4) e registrado o escoamento superficial.



Figura 4 – Superfícies avaliadas em relação ao escoamento superficial - Adaptado (ARAÚJO, 1999).

A estrutura dos pavimentos com revestimentos de blocos vazados e o concreto permeável foram constituídas de agregado de granulometria aberta para permitir a infiltração total da água, caracterizando-se assim como pavimentos permeáveis. Na Tabela 2 estão descritos os coeficientes de escoamento obtidos neste ensaio através da relação entre a chuva total e o volume total de água escoado.

Tabela 2 - Coeficientes de escoamentos pelas superfícies (ARAÚJO, 1999)

Revestimento	Chuva total (mm)	Escoamento total (mm)	Coefficiente de escoamento
Solo compactado	18,66	12,32	0,66
Paralelepípedos	18,33	10,99	0,60
Bloco de concreto	19,33	15,00	0,78
Concreto	18,33	17,45	0,95
Blocos vazados	18,33	0,5	0,03
Concreto permeável	20,00	0,01	0,005

Os resultados apresentados pelo solo compactado ressaltam que considerar uma superfície não pavimentada como área permeável pode resultar em erro de projeto. O estudo demonstra que o importante não é apenas o tipo de revestimento adotado, mas as condições de infiltração do terreno.

Por outro lado, os pavimentos permeáveis (blocos vazados e concreto permeável) utilizados na pesquisa apresentaram coeficiente de escoamento inferior a uma superfície não pavimentada (solo compactado). Isto reforça a contribuição positiva do uso desse sistema para redução do escoamento superficial.

Em áreas com pavimento permeável o projetista pode adotar valores de coeficiente de escoamento “c” de 0,05, tornando possível reduzir a vazão de água gerada pelas áreas de contribuição consideradas permeáveis.

3 COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

A forma correta de avaliar o desempenho de um pavimento permeável e garantir que ele irá contribuir com a diminuição do escoamento superficial de água, problema típico de áreas impermeáveis, é medindo a velocidade de infiltração de um volume conhecido de água, ou seja, determinando-se o seu coeficiente de permeabilidade.

O coeficiente de permeabilidade indica a velocidade de infiltração de água no solo, referida em m/s (PINTO, 2002).

Esta informação é importante para o dimensionamento do sistema na fase de projeto e também após a execução, como forma de acompanhar o desempenho do pavimento ao longo da sua vida útil.

Para determinar o coeficiente de permeabilidade de um solo em laboratório são utilizados permeômetros que podem ser de carga constante ou carga variável, dependendo do tipo de solo. O coeficiente de permeabilidade é então calculado através da Lei de Darcy.

*Em uma superfície permeável é importante saber **em que taxa** a água passa e não em que quantidade!*

Os valores de referência da estrutura do pavimento permeável se baseiam nos estudos da permeabilidade natural dos solos. Na Tabela 3 encontram-se os valores de referência para coeficientes de permeabilidade de solos (TERZAGUI; PECK, 1967). Nas faixas de permeabilidade alta e média a água irá infiltrar com facilidade, fora destas faixas o tempo de infiltração será bem maior e inadequado para superfícies consideradas permeáveis.

De maneira análoga, podemos utilizar o coeficiente de permeabilidade para avaliar os pavimentos permeáveis, considerando-se como valor mínimo de coeficiente de permeabilidade o valor de 10^{-5} m/s.

Tabela 3 - Valores típicos de coeficiente de permeabilidade de solos (TERZAGUI, PECK, 1967)

Tipo de solo	Coeficiente de permeabilidade k (m/s)	Grau de permeabilidade
Brita	$> 10^{-3}$	Alta
Areia de brita, areia limpa, areia fina	10^{-3} a 10^{-5}	Alta
Areia, areia suja e silte arenoso	10^{-5} a 10^{-7}	Baixa
Silte, silte argiloso	10^{-7} a 10^{-9}	Muito baixa
Argila	$< 10^{-9}$	Praticamente Impermeável

Pavimentos permeáveis devem apresentar coeficiente de permeabilidade na faixa de permeabilidade alta, com valores acima de 10^{-5} m/s.

4 REVESTIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL

Nos revestimentos com concreto permeável a infiltração de água se dá pelos poros do concreto (Figura 5).



Figura 5 - Pavimento de concreto permeável

O concreto permeável possui alta porosidade devido à presença de poros interconectados. Para isso, limita-se o teor de finos no traço do concreto e a pasta de cimento é responsável por garantir a interconectividade dos vazios.

Este concreto é utilizado principalmente em estacionamento e áreas com pouco tráfego e garante a permeabilidade do pavimento.

A velocidade de infiltração de água depende da porosidade do concreto e as características da camada de assentamento, da subbase, da base e do próprio subleito ou do sistema de drenagem.

4.1 MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

Para o concreto permeável é necessário caracterizar o coeficiente de permeabilidade previamente à execução do pavimento.

O procedimento proposto pelo American Concrete Institute (ACI - 522R-06) utiliza um permeâmetro de carga variável (Figura 6), onde a amostra de concreto poroso é posicionada.

Figura 6 - Permeâmetro de carga variável para determinação do coeficiente de permeabilidade do concreto permeável



Após a instalação, o circuito é aberto permitindo-se a passagem de água através da amostra de concreto permeável até o dreno, saturando-a e garantindo a retirada do ar.

Em seguida, o circuito é fechado através da válvula, mantendo-se o nível entre a superfície da amostra e o dreno do permeâmetro. Aplica-se uma coluna d'água de 290 mm e a válvula é novamente aberta, registrando-se o tempo para a coluna d'água descer até 70 mm da superfície da amostra.

O procedimento é repetido três vezes para cada corpo de prova e considera-se o tempo médio. O coeficiente de permeabilidade é determinado de acordo com a Lei de Darcy.

$$K = \frac{A_1 L}{A_2 t} \log \left(\frac{h_i}{h_f} \right)$$

onde:

- K** = coeficiente de permeabilidade
- A₁** = área da sessão da amostra; m²
- A₂** = área do tubo; m²
- L** = comprimento da amostra; m
- t** = tempo; s
- h_i** = altura inicial (0,29 m)
- h_f** = altura final (0,07 m)

A norma ACI 522R-06 estabelece como valor mínimo para o concreto permeável coeficiente de permeabilidade (k) de $1,40 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Valores inferiores a esta referência apresentam permeabilidade muito baixa, dificultando a infiltração de água e reduzindo a vida útil do pavimento. Esta referência já considera um fator de segurança levando em conta que o concreto poroso irá colmatar ao longo do tempo.

O requisito de $k \geq 1,40 \times 10^{-3}$ já contempla um fator de segurança suficiente para garantir o funcionamento hidráulico por toda a vida útil do pavimento.

5 MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE *IN SITU*

Para a avaliação do coeficiente de permeabilidade de pavimentos permeáveis já executados recomenda-se o método de ensaio baseado na ASTM C 1701 – *Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete*, ou método de ensaio *in situ* para determinação de coeficiente de permeabilidade em concreto permeável.

O método utiliza um cilindro com diâmetro de 30 cm e altura mínima de 20 cm que deve ser posicionado na superfície do pavimento permeável (Figura 7). As laterais do cilindro são vedadas com massa de calafetar de modo a evitar perda de água (SMITH, 2011; MARCHIONI; SILVA, 2011). O método pode ser utilizado para todos os tipos de pavimentos permeáveis já executados.

Inicialmente o pavimento é pré-molhado com 3,6 L de água. Se o tempo da pré-molhagem for inferior a 30 s, utiliza-se 18 L de água no ensaio, ou novamente 3,6 L se o tempo de pré-molhagem for superior a 30 s.

Tanto na pré-molhagem como durante o ensaio o volume de água deve ser adicionado ao cilindro mantendo-se um fluxo constante, para tanto, deve-se manter a altura de água dentro do cilindro entre 10 mm e 15 mm. O coeficiente de permeabilidade é obtido através da Lei de Darcy, segundo a equação:

$$I = \frac{K \cdot M}{D^2 \cdot t}$$

onde:

- I** = coeficiente de infiltração (mm/h);
- M** = massa de água infiltrada (kg);
- D** = diâmetro interno do cilindro (mm);
- t** = intervalo de tempo entre adição da água e seu desaparecimento da superfície;
- K** = constante: 4.583.666.000.

O método também pode ser utilizado para aprovação do pavimento após sua execução e no monitoramento ao longo da utilização do pavimento, podendo ser utilizado para definir a necessidade de limpeza e manutenção.



Figura 7 - Esquema para medição de coeficiente de permeabilidade *in situ*.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de pavimentação permeável é uma solução simples e de ótimo custo x benefício para a gestão da drenagem urbana. Porém, alguns conceitos devem ser verificados para garantir que o sistema funcione corretamente e atenda às funções para as quais foi concebido.

Dessa forma, para verificar se o pavimento é efetivamente permeável deve-se determinar o coeficiente de permeabilidade do pavimento acabado. Valores de coeficiente de permeabilidade acima de 10^{-5} m/s atestam que o pavimento irá funcionar de forma adequada.

Os agregados utilizados na base do pavimento permeável devem respeitar as distribuições granulométricas indicadas para a camada, sempre se considerando a presença de baixos teores de finos e distribuição granulométrica que proporcione um teor de vazios na ordem de 30%.

O revestimento de concreto permeável deve atender aos requisitos de coeficiente de permeabilidade e resistência mecânica especificados pelo projetista responsável.

7 REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Pervious Concrete. ACI – 522R-06. Michigan, 2006
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete. ASTM 1701/C. PENNSYLVANIA, 2009.
- ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E. M., GOLDEFUM J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRG. Porto Alegre, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Peças de concreto para pavimentação Especificação. NBR 9781. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. Agregados. Determinação da massa unitária e do volume de vazios. NBR NM 45. Rio de Janeiro, 2006.
- FERGUSON, B. K. Porous Pavements. Integrative Studies in Water Management and Land Development. Florida, 2005.
- MARCHIONI, Mariana; SILVA, Cláudio Oliveira. Pavimento intertravado permeável – melhores práticas - ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 2011.
- PINTO, C. Curso básico de mecânica dos solos. Oficina de textos. 2ª edição. São Paulo, 2002
- SMITH, D. R. Permeable Interlocking Concrete Pavements. 4th edition. ICPI – Interlocking Concrete Pavement Institute. Washington D.C., 2011.
- TERZAGHI, K. and PECK, R. B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd edn.. John Wiley, New York, London, Sydney.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p

GLOSSÁRIO

Permeável: que pode ser permeado. Permite a percolação (infiltração) de água.

Percolação ou Infiltração: É o processo pelo qual a água penetra nas camadas superficiais do pavimento, se movendo para baixo através dos vazios da estrutura pela ação da gravidade, até atingir o solo ou uma camada impermeável, podendo alimentar um lençol d'água ou ser drenado.

Drenagem: Remoção da água da estrutura do pavimento por meio de condutos.



Sistemas construtivos
Pavimentos Permeáveis

**Conceitos e Requisitos para
Pavimentos de Concreto Permeável**



Associação
Brasileira de
Cimento Portland

www.abcp.org.br



ABESC

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DAS EMPRESAS DE
SERVIÇOS DE CONCRETAGEM

www.abesc.org.br